

Авторефер.

А 52

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М.В. ЛОМОНОСОВА

АЛТУХОВ А.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОТБОРА
ТЕНЕВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ
МЕТОДОМ СКАНИРОВАНИЯ

(Специальность 05.198 – Автоматизация производственных
процессов)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса – 1970

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М.В. ЛОМОНОСОВА

АЛТУХОВ А.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОТБОРА
ТЕНЕВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ
МЕТОДОМ СКАНИРОВАНИЯ

(Специальность 05.198 – Автоматизация производственных
процессов)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ОНАХТ 11.03.11
Исследование автомат



v011512

Переучет 19 84

Одесса – 1970

v011512

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор ПЛАТОНОВ П.Н.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор ФЕДОСЕЕВ В.А.
кандидат технических наук,
доцент ГЛИКЛИХ М.О.

Автореферат разослан 16^{го} ноября 1970 г.

Защита диссертации состоится 18^{го} декабря 1970 г.
на заседании Совета Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат просим направлять в двух экземплярах, заверенные печатью, по адресу: г. Одесса – А-39, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ

Л. Запорожцу

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе интенсивного развития науки и техники огромную важность приобретает проблема автоматизации эксперимента, повышения производительности труда научных работников. В 1970 г. Совет Министров СССР принял специальное постановление „О развитии производства приборов для научных исследований“, в котором отмечается, что решающим условием высокой эффективности и оперативности научных исследований является оснащение научных организаций новейшими средствами проведения эксперимента и совершенными измерительными приборами. Предлагаемая работа является реализацией указанного постановления в области трудоемких теневых измерений.

В настоящее время в пищевой и химической промышленности развернуты работы по контролю и автоматизации разнообразных процессов, среди которых имеется немало процессов, происходящих в оптически прозрачных средах (воздушные тепловые потоки, двухфазные потоки, потоки в холодильных установках, процессы в растворах и др.).

Для разработки эффективных методов контроля процессов необходимо в первую очередь знать строгое математическое описание состояния объекта. Сложность процессов, происходящих в прозрачных средах, и, что самое главное, отсутствие экспериментального инструмента, способного оперативно и в то же время корректно вскрыть закономерности процесса, настоятельно требуют поиска эффективных путей получения объективной информации об этих процессах.

Теневые методы позволяют тонко контролировать распределение оптической плотности в прозрачной среде. Однако катастрофическим недостатком теневых измерений, сдерживающим использование и, следовательно, развитие весьма перспективной теневой техники, является большая трудоемкость фотографического отбора теневого изображения объекта, расшифровки снимков и обработки данных измерений. Часто результаты эксперимента становятся доступными лишь спустя

много недель после его окончания. Такая ситуация в теневых измерениях недопустима и поэтому должна быть устранена, тем более, что наблюдаемый в последнее время, повышенный интерес к теневым методам вызван необходимостью исследования явлений, связанных со сверхзвуковыми скоростями и физикой плазмы.

Для целей автоматизации теневых измерений весьма плодотворным может оказаться сочетание теневого прибора с телевизионно-вычислительным устройством. Тогда проблема автоматизации содержит два этапа исследования:

1. Исследование автоматизации отбора и расшифровки теневого изображения телевизионной системой. Основная задача исследования - сравнение точности воспроизведения характерных признаков теневого изображения сканирующим фотоэлектрическим датчиком и принятым за эталон фотографическим методом.

2. Исследование автоматической обработки сигналов телевизионной системы. Основная цель исследования - определение параметров запоминающего устройства, устройств ввода-вывода и структуры специализированного вычислительного блока.

В настоящей работе предпринята попытка решить первый вопрос для зонных методов нити и решетки в фокусе и метода расфокусированной решетки применительно к исследованию неизменяющихся во времени неоднородностей.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по главам, общих выводов и приложения. Рисунков 52, библиография - 143 наименования.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В первой главе рассмотрены кратко количественные теневые методы, существующие методы отбора и расшифровки теневых изображений, свойства фотоматериалов, произведен анализ трудоемкости операций теневого измерения. Дан краткий обзор состояния телевизионной автоматки, анализируется

возможность использования телевизионных автоматов в качестве устройств автоматического отбора и расшифровки теневых изображений. Произведен разбор характерных признаков теневых изображений и даны рекомендации по выбору сканирующего датчика в различных количественных методах. Обоснована актуальность автоматизации теневых измерений, изложена постановка задачи исследования.

Сложность и трудоемкость теневых измерений связана в основном с фотографическим отбором теневого изображения объекта и расшифровкой снимков. Фотографический отбор требует пробных съемок, сложного определения параметров и характеристик фотоматериала, громоздкого сенситометрического контроля химико-фотографической обработки. Расшифровка теневых снимков, которая обычно производится при помощи микрофотометра, измерительного микроскопа или компаратора, также весьма сложна. Анализ затрат времени при теневых измерениях показал, что недостатки фотографического отбора и отсутствие автоматической расшифровки снимков приводят к тому, что подготовка к эксперименту и расшифровка серии снимков занимают время на два-три порядка больше, чем время, необходимое для проведения эксперимента.

Поэтому замена фотографического отбора, поиски эффективных и новых для теневых измерений устройств отбора и расшифровки, исследования в области автоматизации экспериментальной техники теневых методов являются крайне актуальными. К такому выводу мы приходим, изучая работы Д.Д. Максимова, Х. Шардина, Д. Холдера и Р. Норта, С.А. Абрикова, В.С. Сухоруких, Л.А. Васильева и других авторов.

Исследование возможностей и целесообразности применения новых устройств отбора и расшифровки требуют дополнительной классификации теневых методов по характерным признакам изображения и особенностям расшифровки. Предлагается разделить методы на две группы: а) методы линейного измерения, в которых расшифровка сводится к измерению линейных размеров смещения границ либо смещения зон тени или света в целом; б) фотометрические методы, где расшифровке подлежит распределение полутонов в изображении, а

результатом расшифровки является значение освещенности или какая-либо величина, связанная с ней: плотность почернения фотоматериала, электрические напряжение, ток.

Фотоэлектрический метод отбора светового поля, получивший широкое применение в различных оптических измерительных устройствах (разработки ГОИ, ЛИТМО, ЛОМО), в теневых измерениях недостаточно распространен. Единственное применение получил интегральный фотоэлектрический датчик при исследовании импульсных, развивающихся в одном направлении процессов, например процессов в ударных трубах. При этом допускается исследование простейших по изображению неоднородностей, так как объект изучается только на одном сечении.

В последние годы интенсивно развиваются методы анализа световых полей с помощью сканирующих фотоэлектрических датчиков, осуществляющих развертку всего поля зрения. В частности, широкое применение находят телевизионно-вычислительные устройства, исследование и применения которых освещены в работах К.В. Михалкова, Г.П. Катуса, В.С. Полоника, Ю.В. Костыкова. Однако в технике теневых измерений указанные методы и устройства до сих пор не только не используются, но даже не рассматриваются.

Использование в теневых измерениях телевизионного датчика позволит изучать более сложные изображения объектов. Сигналы сканирования сечений изображения неоднородности с той или иной степенью точности соответствуют микрофотограммам. Имеется возможность коррекции сигналов, различного преобразования их, последующей автоматической расшифровки и машинной обработки по разнообразным программам. Перечисленные возможности дополняются рядом преимуществ, которые появляются у теневых измерений в связи с заменой фотографического отбора изображения отбором с помощью сканирующего датчика: а) отсутствуют вибрации, вызываемые работой устройств отбора изображения; б) облегчаются процессы синхронизации работы источников света и устройств отбора, становится более гибким дистанционное управление измерением; в) появляется возможность дистан-

ционного наблюдения изображения неоднородности и субъективной (по телевизионному изображению) или объективной (по осциллограмме сигнала) наводке на резкость; г) упрощается привязка точек неоднородности к координатной системе поля предметов, в связи с тем, что сигналы нулевых координат сравнительно просто могут быть введены в видеосигнал; д) небольшое время расходуется на подготовку к эксперименту, так как настройка устройства отбора на заданные характеристики (соответствует подбору экспозиции к выбору условий проявления) производится оперативно; е) современные устройства с телевизионными датчиками при простых характерных признаках изображения, какие имеют место в методах линейного измерения, обладают высокой точностью определения координат объекта; ж) эталонные освещенности или освещенность фона могут быть закодированы и введены в память вычислительного узла телевизионно-вычислительного устройства.

Одной из первостепенных и главных задач в решении этой большой и сложной проблемы является исследование соответствия видеосигнала микрофотограмме на изучаемых сечениях изображения неоднородности. Повышение оперативности теневых измерений, которую можно получить в результате замены ныне применяемого фотографического отбора изображения отбором с помощью телевизионного датчика, не должно существенно снизить качество воспроизведения. Только в этом случае замену можно считать в принципе целесообразной и приступать к решению второй задачи — автоматической обработки сигналов сканирующего датчика.

Сравнение характера искажений в фотографии и телевидении показало, что эти два метода отбора обладают в основном идентичными потерями информации о входном изображении. Однако, вследствие их независимого развития методы оценок показателей в фотографии и телевидении существенно различны, в результате чего количественное сравнение показателей оказывается затруднительным. В работах С.Б. Гуревича указаны пути разработки единых методов оценки показателей телевизионной и фотографической систем на основе информационной теории. Но, как отмечают Д.С. Лебедев, И.И. Цук-

керман и А.Б. Левит, проблема полностью не решена в связи с большими трудностями приложения информационных методов к системам воспроизведения. Более того, в настоящее время еще не существует стандартизованных критериев оценки качества работы самого телевизионного датчика при использовании его в системе с автоматической регистрацией сигнала.

Перечисленные ограничения позволяют в настоящее время произвести эффективное сравнение телевизионного и фотографического отбора изображения только для методов линейного измерения, где изображение объекта обычно имеет высокий контраст, где не интересуются подробным распределением освещенности, а целью расшифровки является определение координат и величины смещений средин зон тени или света.

Исходя из характерных признаков и особенностей расшифровки изображения в теневых методах линейного измерения, целесообразно в качестве датчика выбрать высококонтрастную трубку типа суперортикон, а при анализе считывания изображения главное внимание обратить на апертурные искажения и на влияние шума. Последние два вопроса исследовались в ряде работ (например, разработки кафедры телевидения ОЭИС) и используются в настоящей работе применительно к считыванию зон тени и света.

Анализ материалов первой главы показал необходимость решения следующих задач:

1. Теоретическая оценка качества воспроизведения телевизионным датчиком и микрофотометром границы свет-тень, одиночных зон тени (света) и теней решетки.
2. Оценка влияния шума на точность определения координаты границы.
3. Изучение объективности воспроизведения размытой границы сканирующим датчиком и фотоматериалом.
4. Экспериментальное сравнение осциллограммы видеосигнала с микрофотограммой, полученных при считывании различных теневых изображений.

5. Рассмотрение дальнейших путей развития отбора теневых изображений методом сканирования.

II. СЧИТЫВАНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫМ ДАТЧИКОМ ЗОН ТЕНИ И СВЕТА

В настоящей главе рассмотрены апертурные искажения, возникающие при считывании телевизионным датчиком и микрофотометром идеальных по резкости и контрасту границы свет-тень, одиночных линий света и тени и решетки с равноотстоящими штрихами; исследуется влияние шумов на точность определения положения объекта; выполнен сравнительный анализ объективности воспроизведения размытой границы телевизионным и фотографическим методами.

Распределение плотности тока в электронном луче телевизионного датчика при хорошей фокусировке приближается к нормальному закону распределения. Аппроксимация прозрачности сканирующего элемента (апертуры) для случая, когда последний симметричен относительно центра, имеет вид:

$$R(\alpha, \beta) = \frac{1}{2\pi r} e^{-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x-\alpha}{r} \right)^2 + \left(\frac{y-\beta}{r} \right)^2 \right]}, \quad (1)$$

где α, β — координаты центра элемента;
 r — его условный радиус, по которому оценивается величина пятна.

Исходным соотношением для определения сигнала телевизионного датчика в относительных единицах при считывании им линий тени или света и решетки является уравнение сигнала при считывании границы свет-тень:

$$F\left(\frac{\xi}{r}\right) = \frac{U\left(\frac{\xi}{r}\right)}{U_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \varphi\left(\frac{\xi}{r}\right) \right], \quad (2)$$

где

$$\varphi\left(\frac{\xi}{r}\right) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\xi}{r}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\xi}{r} \right)^2} d\left(\frac{\xi}{r}\right) \quad (3)$$

— функция Лапласа; $\xi = x - \alpha$; U_0 — величина сигнала, соответствующая положению сканирующего элемента в зоне света.

Конечные размеры сканирующего элемента приводят к несоответствию сигнала изображению объекта. При сканировании идеальной границы свет-тень в сигнале появляется зона размытости

$$\Delta r = \frac{\Delta f}{N} = \sqrt{2\kappa} \quad (4)$$

Если принять за условный диаметр сканирующего элемента суперортика ЛИ-17 значение

$$2r = \frac{h_{\text{кк}}}{Z} = \frac{24}{625} \approx 0,04 \text{ мм} \quad (5)$$

($h_{\text{кк}} = 24$ мм - высота кадра на фотокатод; $Z = 625$ - число строк разложения), то линейный размер зоны составляет $\Delta f = 0,05$ мм.

При микрофотометрировании границы свет-тень, когда сканирующая щель микрофотометра квадратна (b_m^2) и имеет равномерную прозрачность, зона размытости равна:

$$\Delta r_m = \frac{\Delta f}{b_m} = 1 \quad (6)$$

Установлено, что для возможности отсчета широко распространенной в негативах различных технических съемок максимальной плотности почернения порядка 2,35 при использовании имеющегося в комплекте прибора МФ-4 микрообъектива с максимальным увеличением 21^{\times} необходима площадь, приведенной к объекту щели порядка $b_m^2 = (0,1 \times 0,1) \text{ мм}^2$. При такой щели и масштабе записи по горизонтали, равном единице, линейный размер зоны размытости в микрофотограмме ($\Delta f = 0,1$ мм) больше чем в сигнале телевизионного датчика.

При считывании зон света или тени регистрацию уровней сигнала, которые по временному положению соответствуют границам зон, удобно производить с помощью триггера Шмитта. Показано, что при размерах зон $b < 4r$ необходимым следящим порогом срабатывания триггера, реализация которого является сложной задачей, требует отдельного исследования и разработки. Вместе с тем, в теневых методах линейного измерения (кроме метода ножа в фокусе) обычно не ин-

тересуются положением границ зон света и тени. При расшировке определяют середины симметричных зон, вычисление которых может быть произведено по результатам дискриминации сигнала на разных уровнях. Это позволяет работать без следящего порога и вычислять середины одиночных зон до такой их минимальной ширины, пока не будет внесена недопустимая ошибка измерения из-за влияния шума при малом размахе сигнала.

При неизменном относительном пороге срабатывания $U_n = 0,5$ одновременная информация о положении границ и о середине одиночной зоны может быть получена для размеров изображения объектов на фотокатод $b = 4r = 4 \cdot 0,02 = 0,08$ мм. Этому размеру соответствует почти 100%-ная модуляция и ширина изображения зоны в поле предметов теневого прибора типа ИАБ-451 (при масштабе изображения $m \approx 0,1$) $\approx 0,8$ мм.

В случае сканирования решетки экстремумы сигнала несут информацию о середине штрихов и светлых промежутков, а сигнал на уровне $F \left(\frac{r}{N} \right) = 0,5$ содержит информацию о положении границ линий тени и света независимо от ширины штриха. Когда ширина штриха решетки равна стороне квадрата сканирующей апертуры микрофотометра $b = b_m = 0,1$ мм, на микрофотограмме имеет место 100%-ная модуляция в отличие от 98%-ной, которая получается при считывании такой решетки сканирующей апертурой телевизионного датчика $2r = 0,04$ мм. Однако крутизна сигнала датчика в районе $F \left(\frac{r}{N} \right) = 0,5$ гораздо больше крутизны микрофотограммы, что при наличии шума уменьшает ошибку определения положения границы свет-тень.

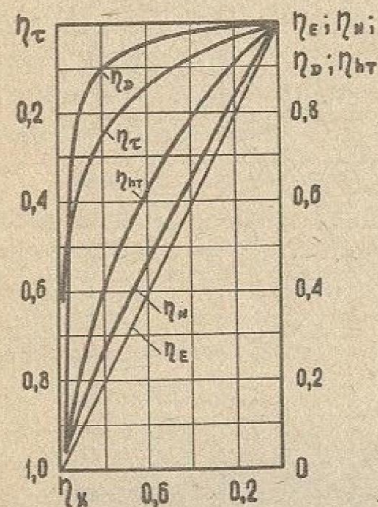
Весьма важным является исследование воспроизведения датчиком минимального смещения границы свет-тень, определяющего в итоге регистрацию смещения зон света и тени. Установлено, что при усреднении действия шума суперортиком хорошо воспроизводит смещение изображения границы на фотокатод порядка условного диаметра сканирующей апертуры $2r = 0,04$ мм. Это значение соответствует величине в поле предметов прибора ИАБ-451 порядка 0,4 мм.

Наличие шума искажает сигнал и может привести к ложному срабатыванию триггера. С увеличением дисперсии шума σ неопределенность срабатывания триггера возрастает. Анализ данного вопроса позволил выяснить количественные связи между уровнем дискриминации сигнала, ошибкой и ее вероятностью. Например, при дискриминации сигнала на оптимальном уровне $F \left(\frac{\epsilon}{N} \right) = 0,5$ линейная величина отклонения срабатывания от значения $\frac{\epsilon}{N} = 0$ для $\sigma = 1$ составляет $\Delta f_{\sigma} = 0,046$ мм. При этом вероятность ошибочного срабатывания равна: $\rho \left(\frac{\Delta f_{\sigma}}{2N} \right) = 0,31$. Для $\sigma = 0,5$ получаются результаты: $\Delta f_{\sigma} = 0,0044$ мм и $\rho \left(\frac{\Delta f_{\sigma}}{2N} \right) = 0,16$. Величины Δf_{σ} , приведенные к полю предметов прибора ИАБ-451, соответственно равны 0,44 мм и 0,043 мм.

Далее рассмотрена вероятность ошибочного срабатывания, когда апертура находится полностью в зоне света и тени. Показано, что эта вероятность быстро убывает до нуля с ростом отношения сигнал/шум ψ (контраста между светом и тенью). Например, уже для $\psi = 3$ $\rho(\psi) = 6,7\%$. При $\psi = 5$ вероятность составляет 0,62%, а при $\psi = 8$ она ничтожно мала ($3 \cdot 10^{-5}$). Приближенная оценка перепада освещенности на фотокатоде суперортикона для получения модуляции порядка 100% ($\psi = 5$) при максимальной освещенности 1,5 лк и полосе частот 6,5 Мгц дает $\Delta E = 0,06$ лк, что соответствует относительному контрасту 4%. Практически контраст зон тени и света на теновом изображении в методах линейного измерения намного выше 4%, поэтому суперортикон обеспечит эффективный отбор оптической информации тенового прибора.

Шум телевизионного датчика вносит ошибку в определение координаты середины и величины смещения зоны тени (света). Однако при исследовании неизменяющихся во времени неоднородностей возможно применение устройств отбора и расшифровки интегрирующего типа, где действие шума усредняется. Высокая точность определения положения границы свет-тень гарантируется при 50 наблюдениях. Для получения такого объема выборки при полосе частот 6,5 Мгц и вещательном стандарте разложения время выборки составляет 7 сек.

Зоны тени и света на реальной теновой картине из-за конечной ширины осветительной щели и дифракционных явлений не имеют резких границ. Часто распределение освещенности E на границе определяется графиком дифракционного максимума в пределах его полуширины. Ход кривой в районе значения $0,5 E_{max}$ приближается к прямой линии. Соответствие относительного сигнала телевизионного датчика $\eta_{tr}(\eta_x)$ и относительных микрофотограмм $\eta_n(\eta_x)$, $\eta_a(\eta_x)$, $\eta_{\tau}(\eta_x)$ линейному распределению относительной освещенности $\eta_{\epsilon}(\eta_x)$ показано на фиг. 1. Материалом для получения



Фиг. 1.

кривых фиг. 1 служили световая характеристика суперортикона ЛИ-17 ($E_{max} = 1,5$ лк), построенная на сенситометрическом бланке НИКФИ (фиг. 2, кривая h_T):

$$h_T = k_1 + k_2 \lg H + k_3 \lg^2 H \quad (6)$$

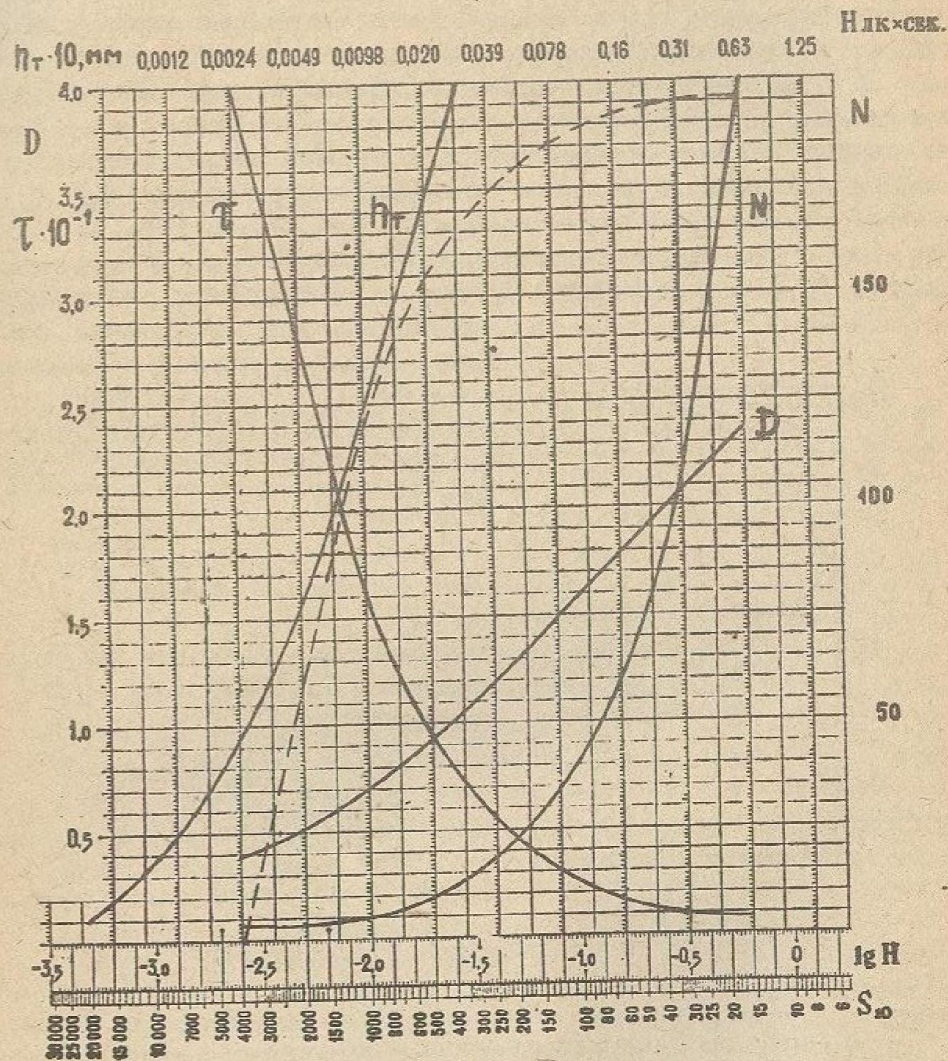
и кривая коэффициента непрозрачности пленки КН-3 ($\gamma_M = 1,0$; кривая N):

$$N = k_4 e^{k_5 \lg H} \quad (7)$$

На фиг. 2 показаны также кривая коэффициента пропускания τ и характеристическая кривая фото-

материала \mathcal{Z} .

Максимальное приближение к объекту дает коэффициент непрозрачности. Однако микрофотометры допускают непосредственное измерение либо плотности почернения \mathcal{Z} , либо коэффициента пропускания τ . С этой точки зрения отбор изображения полутоновой зоны при помощи суперортикона дает лучшие результаты. Соответствие сигнала распределению освещенности может быть дополнительно улучшено применением гамма-коррекции.



Фиг. 2.

Проведено сравнительное исследование разрешения суперортиконом и фотоматериалом изображения частично перекрытых размытых границ свет-тьень, в результате которого установлено, что сканирующий датчик лучше разрешает эти границы. Получены соотношения для пересчета сигнала датчи-

ка в освещенность объекта.

Результаты произведенных исследований свидетельствуют о более объективном воспроизведении зон света и тени суперортиконом по сравнению с системой фотоматериал-микроскоп-фотометр.

В диссертации теоретические исследования иллюстрируются графическим материалом и количественными примерами.

III. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

В третьей главе описана экспериментальная установка; определены источники ошибок измерения и произведена их оценка; выбраны объекты исследования; рассматривается методика эксперимента и обработка результатов.

Несколько разновидностей теневых методов линейного измерения и большая трудоемкость сравнительного исследования отбора теневых изображений телевизионным датчиком и фотографическим методом настоятельно требовали разумно упростить эксперимент, выявить и исключить завуалированные возможности повторения сути сравнения методов отбора, оставить только главную идею, проверка которой позволит принять или опровергнуть теневой телевизионный метод. Анализ методики эксперимента с этой точки зрения показал, что:

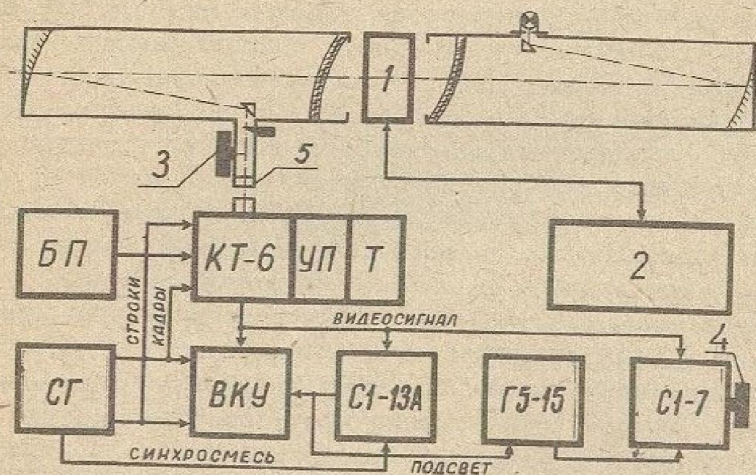
- главной целью экспериментального исследования является сравнение данных расшифровки телевизионного и фотографического отбора изображения изменяющихся по ширине зон света или тени;
- при исследовании всех объектов следует применить метод ножа в фокусе, позволяющий просто получать зоны тени и света разных размеров и контрастов;
- изображение объекта проецируется в центр растра телевизионного датчика, а в оценке сравнения двух методов отбора учитываются возможные искажения на краях растра.

Сравнение отбора теневого изображения телевизионным датчиком и фотографическим методом производилось путем сопоставления объективной информации — осциллограммы сигнала строки, выделенной на изучаемом сечении изображения

объекта и соответствующей ей микрофотограммы снимка объекта.

Вертикальный и горизонтальный масштабы при микрофотометрировании выбирались так, чтобы первая микрофотограмма серии по высоте и на некотором уровне по ширине совпала с высотой и на соответствующем уровне с шириной первой осциллограммы серии. Последующие микрофотограммы серии сравнивались по ширине с соответствующими осциллограммами на уровне совмещения и, если необходимо, на других уровнях.

В соответствии с принятым принципом исследования разработана экспериментальная установка (фиг. 3). Интегрирующий характер телевизионного измерительного устройства организован за счет выбора соответствующей выдержки в фотоприставке регистрирующего сигнал осциллографа.



Фиг. 3.

Объекты исследования, режим которых может изменяться от действия внешних возмущений, устанавливаются в рабочей камере 1 теневого прибора ИАБ-451. Объект исследования, если это необходимо, подключается соответствующим образом к контрольно-измерительному стенду 2, который поддерживает и контролирует режим объекта.

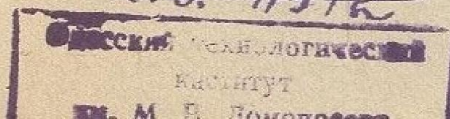
Теневое изображение с выхода прибора ИАБ-451 через согласующую оптику с переменным увеличением 5 проецируется непосредственно на фотокатод суперорбитрона ЛИ-17 телевизионной камеры типа КТ-6. Ось суперорбитрона совпадает с оптической осью окуляра прибора. Камера установлена на тележке Т, которая может перемещаться по направляющим параллельно оптической оси. Устройство перемещения УП позволяет смещать камеру перпендикулярно оптической оси. Разложение соответствует вещательному телевизионному стандарту. Синхроимпульсы кадров и строк поступают от синхронизатора типа СГ на телевизионную камеру и одновременно на видеоконтрольное устройство ВКУ. Камера питается от высокостабильного блока питания БП.

Видеосигнал с выхода телевизионной камеры подается на видеоконтрольное устройство, осциллограф типа С1-13А, снабженный блоком выделения строки, и регистрирующий осциллограф типа С1-7, предназначенный для точных исследований. Синхронизация развертки осциллографа С1-13А осуществляется синхросмесью.

Блок выделения строки позволяет выделить сигнал строки или ее части на любом сечении раstra. В блоке формируется сигнал подсвета, необходимый для индикации положения выделенной строки на экране видеоконтрольного устройства и для запуска через генератор импульсов с регулируемой задержкой типа Г5-15, ждущей развертки осциллографа С1-7. Генератор Г5-15 увеличивает возможность центровки осциллограммы на экране трубки осциллографа по оси X.

Установка питается от сети переменного тока через феррорезонансный стабилизатор напряжения типа С-3С.

Съемка теневого изображения производится фотокамерой 3 типа „Зоркий“. Для съемки осциллограмм используется фотоприставка 4 с камерой „Зенит“. В качестве фотоматериала для отбора теневого изображения выбрана универсальная пленка типа КН-3. Съемка осциллограмм производится на рентгеновскую пленку РФ-3. Однородность экспериментов обеспечена постоянством температуры поверхности тела объекта - окружающей среда, стандартным временем прогрева



аппаратуры экспериментальной установки и предельно коротким сроком эксперимента.

Несоответствие линейных размеров осциллограмм и микрофотограмм в направлении сканирования и непропорциональность этих размеров соответствующему линейному размеру изображения неоднородности, в связи со сложной структурой экспериментальной установки и различными физико-химическими процессами, обусловлено многими источниками ошибок, которые могут быть собраны в 4 группы: а) ошибки, вызванные случайным изменением размера визуализированного объекта; б) ошибки пропорциональности воспроизведения размера изображения объекта телевизионным устройством, фотоматериалом и микрофотометром; в) ошибки, связанные с субъективными оценками экспериментатора; г) ошибки, обусловленные несовершенством построения графиков.

В результате анализа величины ошибок установлено, что максимальная ошибка сопоставления линейных размеров осциллограмм и микрофотограмм определяется п. в и имеет значение 7%. Ошибка определения линейных размеров зон тени и света при телевизионном отборе связана в основном с нелинейностью развертки, при фотографическом отборе — с неравномерностью проявления. Максимальная ошибка в первом случае достигает 10%, во втором — 20%.

Сравнение информации телевизионного датчика и снимка произведено на пяти различных объектах. Два объекта носят методический характер и идеально стационарны. Это щель, ширина которой изменяется за счет смещения одной ее границы с помощью микрометрического винта. Второй объект — два непрозрачных штриха шириной 2 мм и таким же светлым промежутком между ними.

Следующие два объекта — тепловые конвективные потоки горизонтального цилиндра и вертикальной пластины. Пятый объект — тепловой воздушный закрученный поток, образованный в открытой с двух сторон цилиндрической камере.

Для выяснения зависимости результатов сравнения отбора теневого изображения от режима проявления фотоматериала, пленка КН-3 проявлялась в различных экспериментах до разного коэффициента контрастности. Коэффициент контрастности плен-

ки РФ-3 не контролировался. Исследовалось также сравнение отбора при оптической расфокусировке телевизионной камеры.

В качестве основного приема анализа и обработки данных эксперимента приняты методы математической статистики: регрессионный анализ, проверка основной гипотезы распределения ошибок, сравнение дисперсий и средних, проверка воспроизводимости результатов измерения при непрерывной работе аппаратуры в течение шестичасового рабочего дня.

Разработанная экспериментальная установка, выбранные объекты и методика их исследования позволили произвести эффективное сравнение отбора теневых изображений телевизионным и фотографическим методами.

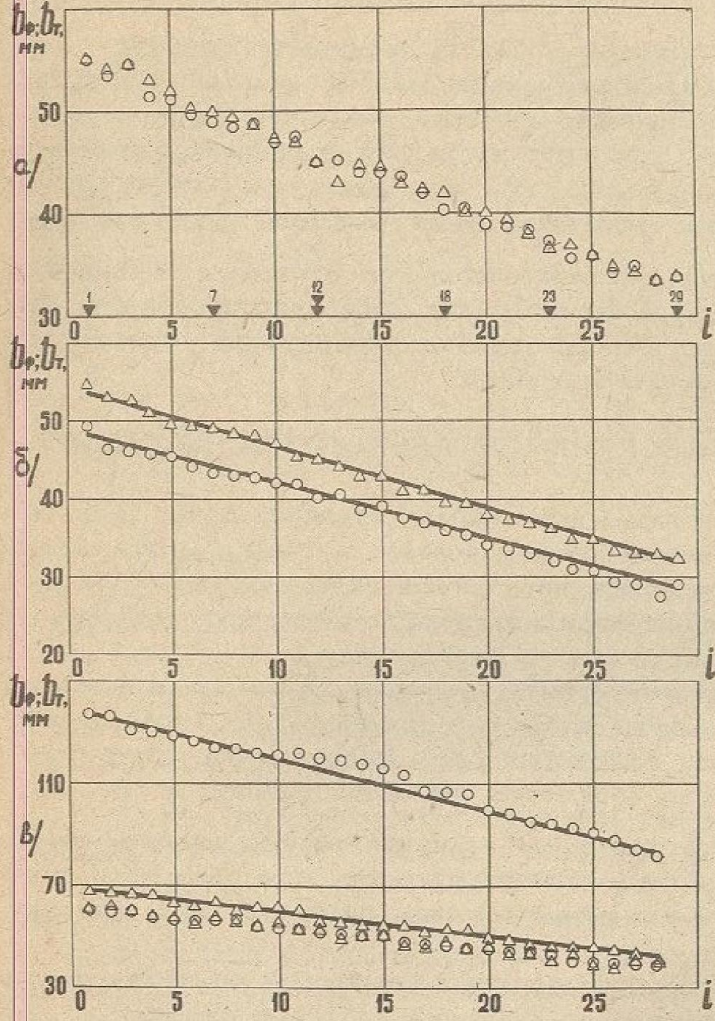
IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Перед проведением экспериментов определены характеристики экспериментальной установки: световая, отношение сигнал/шум ($\psi = 16,5$), нелинейные искажения по строке тщательным подбором формы отклоняющегося тока доведены до 7%.

Зона размытости фронта импульса на половине размаха, обусловленная влиянием шума при перекрытом изображении осветительной щели составляет $\Delta f_c = 0,08$ мм, что соответствует размеру в поле предметов теневого прибора $\approx 0,6$ мм.

Возможность четкой регистрации телевизионным измерительным устройством интегрирующего типа размера зоны $B = 4^M$ и шага смещения границы свет-тень 2^M подтверждается.

Основными градуировочными графиками телевизионного и фотографического отбора являются зависимости ширины осциллограмм b_T и микрофотограмм b_F от изменения ширины щели — объекта b . С целью облегчения обработки данных вместо величины b принят номер кадра i . Градуировочные графики для перекрытого и неперекрытого ножом на 50% изображения осветительной щели показаны соответственно на фиг. 4а и 4б, и фиг. 4в. Результаты обработки данных приведены в таблице 1.



Фиг. 4.

компрессия полутоннов суперортиконом по сравнению с фотоматериалом. Значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о линейных зависимостях $b_T(i)$ и $b_F(i)$. Малая ошибка $\delta\%$ говорит о хорошей линейности и практически точном совпадении телевизионной и фотографической характеристик воспроизведения размеров изменяющегося по ширине

В связи с трудоемкой оценкой случайной величины коэффициента линейной регрессии, необходимого для построения доверительной области, предложен критерий соответствия полученной и истинной линий регрессии $\delta\%$.

Уравнения регрессии, полученные по данным расшифровки серий осциллограмм и микрофотограмм на уровнях совмещения по ширине первых в сериях осциллограмм и микрофотограмм практически совпадают. Подтверждается значительная

Таблица 1

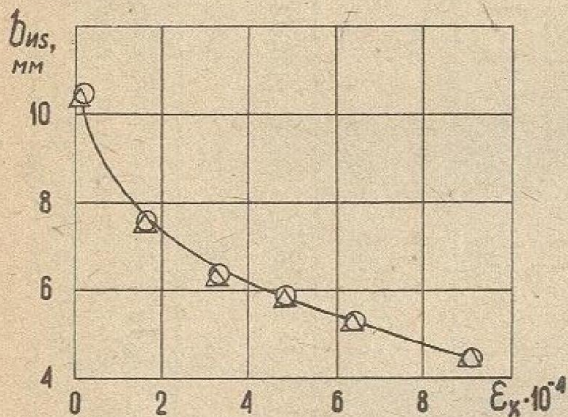
Уровень совмещения по ширине	График фиг.	Уровень измерения	α_p , мм	β_p	μ_k	S^2 , мм ²	$\delta\%$	$\Delta b_{фг}$, мм	$\Delta b_{фг}$, мм
0%	4,а	h_T	55,6	0,79	0,999	0,82	0,35	0,72	1,90
		h_F	54,9	0,76	0,991	0,35	0,41	0,47	1,10
0,5	4,б	h_T	54,5	0,80	0,990	0,23	1,90	0,39	1,13
		h_F	49,1	0,74	0,985	0,33	3,00	0,46	1,10
50%	4,в	h_T	65,5	0,97	0,987	1,10	0,61	0,88	1,82
		h_F	139,0	1,98	0,999	9,80	0,61	2,64	6,56
		h_T	62,8	0,88	0,989	1,00	0,37	0,87	1,72
		h_F	63,4	0,91	0,999	0,75	0,49	0,64	1,70

h_T, h_F - высота осциллограммы и микрофотограммы ($h_T = h_F$); β_p, α_p - коэффициент и свободный член уравнения линейной регрессии; μ_k - коэффициент корреляции; S^2 - дисперсия; $\Delta b_{фг}$ - средняя и максимальная абсолютные ошибки; $\delta\%$ - ошибка соответствия полученной и истинной линий регрессии.

объекта. Наибольшие дисперсия ($9,8 \text{ мм}^2$) и максимальная абсолютная ошибка ($6,56 \text{ мм}$) соответствуют фотографическому отбору и объясняются влиянием неравномерности проявления на ширину снимка размытой границы свет-тень с большим содержанием полутонов.

Проверка основной гипотезы, произведенная по критерию Пирсона, показала нормальность распределения ошибок. Оценки однородности дисперсий в точках $i = 1, 7, 12, 18, 23, 29$ (фиг. 4а) по критерию Кохрана и средних в точке $i = 12$ по критерию Фишера, произведенные из расчета 6-часовой работы аппаратуры, подтвердили незначимость их расхождения.

Хорошее совпадение результатов получено также при отборе двумя методами размеров изображения конвективных тепловых потоков $b_{ис}$ горизонтального цилиндра (на горизонтальном диаметре, фиг. 5), вертикальной пластины (на

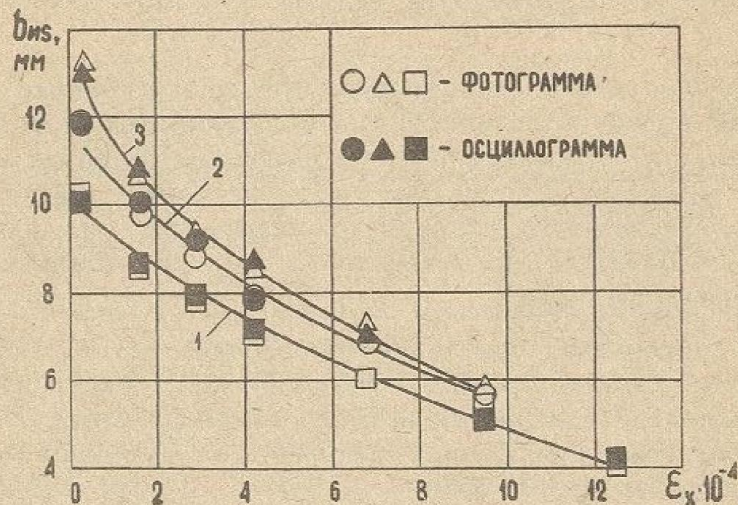


Фиг. 5.

зываются на результатах измерения.

Графоаналитический анализ сравнения воспроизведения телевизионным датчиком и фотоматериалом размытой границы свет-тень показал хорошее совпадение экспериментальной и расчетной формы осциллограммы, четкое согласование характеристик воспроизведения телевизионного и фотографического отбора и подтвердил более объективное воспроизведение гра-

ницы телевизионным датчиком по сравнению с фотографическим методом.



Фиг. 6.

В работе результаты экспериментального исследования иллюстрируются таблицами, графиками, теневыми фотографиями объектов исследования, фотографиями осциллограмм и микрофотограмм.

Положительные результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в процессе выполнения ряда хозяйственных научно-исследовательских работ, позволили перейти к разработке опытного образца полуавтоматической теневой телевизионной установки. Такой образец разработан и внедрен. Установка позволяет исключить из процесса измерения фотосъемку и автоматизирует расшифровку изображения неоднородности. Ее эффективность заключается в увеличении на три порядка скорости отбора и расшифровки теневой изображения по сравнению с фотографическим отбором и существующим приемом расшифровки снимков без снижения точности измерения.

В диссертации описаны структура и показатели опытного образца, приведены фотографии установки, копии акта вне-

дения и протокола испытаний.

У. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК

Использование сканирующего датчика в технике теневых измерений наряду с появляющейся возможностью сквозной автоматизации и, следовательно, сокращением (в сотни и тысячи раз!) времени, необходимого для получения результатов эксперимента, создает условия для проведения принципиально новых разработок в теоретической и экспериментальной областях теневых методов.

В диссертации приводится проработка исследования статистических характеристик газовых потоков, основанная на исследовании распределения яркости люминесцентного покрытия трубки осциллографа при подаче на нее отклоняющие пластины видеосигнала объекта.

Обосновывается возможность использования теневой установки со сканирующим датчиком отбора в качестве датчика автоматического регулятора.

Описана разработка устройства дискретного выделения оптической информации на любых заранее заданных сечениях изображения исследуемой неоднородности.

Анализируются возможности передающей трубки типа диссектор с точки зрения скоростного отбора теневого изображения и автоматизации теневых фотометрических измерений.

Показана возможность подхода к анализу теневых схем с позиций теории сигналов: раскрыта аналогия структуры теневого прибора и классического устройства связи; введены понятия входного сигнала, выходных сигналов, коэффициентов передачи теневого прибора и коэффициентов модуляции. Выдвигается предположение о возможности анализа помех в схемах теневых измерений методами теории сигналов и о целесообразности оценки их чувствительности с вероятностной и информационной точек зрения.

В связи с предполагаемым развитием работ в области автоматизации теневых измерений, предлагается классифика-

ция экспериментальной теневой техники по составу аппаратуры: а) теневой прибор; б) теневая установка; в) полуматематическая теневая установка; г) автоматическая теневая система.

ВЫВОДЫ

1. Применяемый ныне метод фотографического отбора теневых изображений и связанная с ним расшифровка снимков являются наиболее трудоемкими операциями теневого измерения.

2. Автоматизация теневых измерений обеспечивает оперативность эксперимента, возможность использования ЭВМ в процессе исследования, создает условия для широкого распространения теневой техники и позволит ускорить темпы научно-исследовательских и конструкторских работ в разнообразных отраслях науки и техники, связанных с применением теневых методов.

3. Использование автоматизированных теневых измерений в пищевой и химической промышленности даст возможность эффективно исследовать закономерности процессов, происходящих в прозрачных средах, получить данные для составления математических описаний различных процессов, крайне необходимых для разработки методов и средств автоматического контроля и управления.

4. Для целей автоматизации теневых измерений весьма плодотворным может оказаться сочленение теневого прибора с телевизионно-вычислительным устройством.

5. Задачей первого этапа решения проблемы автоматизации в аспекте п.4 является сравнительное исследование точности воспроизведения характерных признаков теневых изображений сканирующим датчиком и принятым за эталон фотографическим методом.

6. Разработана классификация теневых методов по характерным признакам и особенностям расшифровки теневого изображения, а также классификация схем теневых измерений по составу аппаратуры.

7. Исходя из характерных признаков и особенностей расшифровки изображения в теневых методах линейного измерения целесообразно в качестве сканирующего датчика выбрать суперортикон.

8. Теоретически обосновано, что суперортикон по сравнению с системой фотоматериал-микрофотометр более объективно воспроизводит резкие и размытые границы света и тени.

9. Рассмотрено влияние шума на точность регистрации положения границы свет-тень и показано, что телевизионный автомат интегрирующего типа практически точно производит эту регистрацию.

10. Градуировочные графики, полученные в результате статистической обработки опытных данных телевизионного и фотографического отбора изменяющихся по ширине и симметричных относительно середины зон тени и света с резкими и существенно размытыми границами, показали линейность и совпадение телевизионной и фотографической характеристик воспроизведения размеров объекта. При этом, вследствие значительного влияния неравномерности проявления на ширину снимка размытой границы свет-тень, дисперсия при фотографическом отборе может на порядок превышать дисперсию телевизионного отбора. Эксперименты с реальными объектами подтверждают эти выводы.

11. Разработан и внедрен опытный образец полуавтоматической теневой телевизионной установки. Испытание образца показало, что по сравнению с фотографическим методом отбора и микрофотометрической расшифровкой снимков время получения результатов уменьшается примерно на три порядка без снижения точности измерения.

12. Рассмотрены некоторые аспекты развития исследований и разработок в области автоматизации теневых измерений.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Алтухов А.М. Шлирен-телевизионный метод исследования прозрачных процессов. Тезисы докладов XIX Укр.конф.

НТОРЭС им. А.С.Попова, К., 1969.

2. Алтухов А.М. Автоматический отбор шлирен-изображения тепловых полей методом сканирования. Реферативная информация по радиоэлектронике, НИИЭИР, № 3, М., 1970.

3. Алтухов А.М. Исследование статистических характеристик воздушных тепловых потоков. Реферативная информация по радиоэлектронике, НИИЭИР, № 3, М., 1970.

4. Алтухов А.М., Горбис З.Р. Анализ шлирен-систем с позиций теории передачи и преобразования сигналов. Сб. Кибернетика и автоматическое управление, АН УССР, вып. 2, К., 1969.

5. Алтухов А.М., Калинина Л.Г. Применение шлирен-телевизионной системы в качестве автоматического регулятора. Сб. Исследование систем автоматического управления и регулирования, АН МССР, вып. 13-14, Кишинев, 1969.

6. Алтухов А.М., Платонов П.Н. Теневой телевизионный метод исследования газовых потоков. Материалы X Всесоюз. конференции по актуальным вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем. Одесса, 1970 (в печати).

7. Горбунов В.П., Алтухов А.М. Устройство выделения строки при осциллографическом исследовании видеосигнала. Решение о выдаче авторского свидетельства по заявке 1326830/26-8 от 19/XII-1969.

8. Алтухов А.М. Оптимальный режим стабилизаторов напряжения постоянного тока. Радиотехника (Изв. вузов), 3, № 4, 1961.

9. Наремский Н.К., Алтухов А.М., Ковтун А.П. Прибор для определения положения границы раздела жидких сред при освещении вина в емкостях. Реферат. информ. о законченных научно-иссл. работах в вузах УССР (Пищевая промышленность), К., 1966.

Результаты работы докладывались на XXIX, XXX и XXXI научных конференциях ОТИ им. М.В. Ломоносова (Одесса, 1967; 1969; 1970), на XXIУ научно-технической конференции ОЭИС им. А.С.Попова (Одесса, 1969).

БР 04092 Подписано к печати 3/XI-1970 г. Объем 1,75 печ.л.
Уч.-изд.л. 1,4 Заказ № 283 Тираж 200 экз. 1970 год

Лаборатория фотомеханической печати ОТИПП
имени М.В.Ломоносова, г.Одесса, ул.Свердлова, № 112